

Optimasi Alokasi Penggunaan Lahan Berbasis Mitigasi Erosi

Muhammad Fandy Ilhami dan Mochamad Yusuf

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: mochamad.yusuf@urplan.its.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan alokasi penggunaan lahan Kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu Hulu di Kecamatan Kejajar. Bererapa analisis yang digunakan adalah *watershed analysis* untuk menentukan delineasi wilayah studi; analisis *Universal Soil Loss Equation* (USLE) untuk memprediksi laju erosi per penggunaan lahan; dan analisis *Linear Programming* untuk mencari alokasi penggunaan lahan yang optimal dalam rangka menurunkan laju erosi yang terjadi. Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah alokasi penggunaan lahan yang optimal dari 5 jenis penggunaan lahan yang teridentifikasi di wilayah studi yaitu penggunaan lahan hutan lindung, hutan produksi, permukiman, ladang, dan sungai. Hasil optimasi menunjukkan dalam rangka mengurangi laju erosi yang terjadi diperlukan penambahan luas pada dua penggunaan lahan yakni hutan lindung dan hutan produksi masing-masing sebesar 374,20 ha dan 788,73 ha. Luas penggunaan lahan ladang perlu dikurangi sebesar 1.170,82 ha. Sedangkan luas penggunaan lahan permukiman dan sungai tidak mengalami perubahan. Dari hasil optimasi, laju erosi dapat dikurangi sebesar 159.189,31 ton/tahun atau sebesar 19,58%.

Kata Kunci—Alokasi Penggunaan Lahan, *Linear Programming*, *USLE*.

I. PENDAHULUAN

DEGRADASI DAS yang terjadi umumnya berupa lahan gundul pada tanah kritis dan erosi yang terjadi pada lereng-lereng yang curam akibat pemanfaatan lahan pertanian maupun yang lainnya seperti permukiman dan pertambangan [1]. DAS merupakan ruang yang dapat diartikan sebagai prosesor yang memproses input (air hujan) menjadi berbagai macam output. Salah satu output utama yang dihasilkan adalah air yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat yang tinggal pada area DAS tersebut, selain itu terdapat pula erosi sebagai output yang dihasilkan. Kawasan DAS memiliki peran yang penting karena memiliki berbagai macam fungsi seperti fungsi ekologis, sumber air bersih, irigasi, hingga pembangkit listrik. Oleh karena itu keberlanjutan dari DAS penting untuk diperhatikan sebagai dasar dalam pengambilan kebijakan terutama dalam pemanfaatan ruang pada kawasan DAS.

DAS Serayu merupakan salah satu dari 15 DAS kritis yang diprioritaskan untuk direhabilitasi. Menurut data dari BPDAS Serayu Opak Progo, tingkat erosi pada DAS Serayu telah mencapai 241.559,805 ton per tahun dan tingkat sedimentasi sebesar 18.163,024 ton per tahun. Tekanan terhadap DAS Serayu Hulu sangat besar terutama oleh sektor pertanian. Perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan lahan memicu adanya erosi tanah yang dipercepat [2]. Selain itu, tekanan lahan tersebut juga menyebabkan bencana alam terkait kerusakan lingkungan DAS seperti banjir dan tanah longsor

Tabel 1.
Variabel Penelitian

Indikator	Variabel
Topografi	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian Tanah Erosivitas Hujan
Penentu Erosi	<ul style="list-style-type: none"> Erodibilitas Tanah Faktor LS Faktor CP
Sosial Demografi	<ul style="list-style-type: none"> Kebutuhan Ruang Penduduk Kebutuhan Kalori Penduduk
Regulasi	<ul style="list-style-type: none"> Kesesuaian Hutan Lindung Kesesuaian Hutan Produksi

Sumber: Hasil Analisis, 2019

Tabel 2.

Nilai Erodibilitas Berbagai Jenis Tanah		
No.	Jenis Tanah	Nilai K
1.	Alluvial	0,315
2.	Andosol	0,278
3.	Grumosol	0,187
4.	Latosol	0,175
5.	Regosol	0,346

Sumber: Puslitbang Pengairan Bogor, 1995

Tabel 3.

Nilai Faktor LS per Kemiringan Tanah		
Kelas Lereng	Kemiringan Lahan (%)	Nilai Faktor LS
I	0-8%	0,4
II	8-15%	1,4
III	15-25%	3,1
IV	25-40%	6,8
V	>40%	9,5

Sumber: Kironoto, 2000

[3]. Saat ini Kawasan DAS Serayu Hulu memiliki penggunaan lahan yang didominasi oleh pertanian lahan kering.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh alokasi penggunaan lahan yang optimal dengan memperhatikan laju erosi yang ada dalam upaya mencapai keberlanjutan DAS Serayu Hulu. Tahapan yang dilakukan adalah pertama menentukan delineasi kawasan DAS / wilayah studi, kedua menghitung laju erosi per penggunaan lahan, dan terakhir yaitu optimasi alokasi penggunaan lahan.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan penelitian secara positivisme. Pendekatan positivisme berangkat dari keyakinan bahwa legitimasi sebuah ilmu diukur dari penggunaan data-data yang terukur

Tabel 4.
Nilai Faktor CP per Penggunaan Lahan di Wilayah Studi

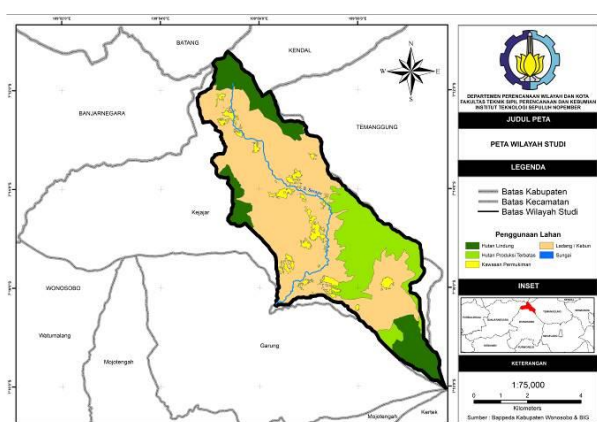
Penggunaan Lahan	Nilai Faktor CP
Hutan Lindung	0,001
Hutan Produksi	0,2
Ladang	0,5
Permukiman	1
Sungai	0,001

Sumber: Hasil Analisis, 2020.

Tabel 5.
Penggunaan Lahan di Wilayah Studi

Penggunaan Lahan	Luas (ha)
Hutan Lindung	639,95
Hutan Produksi	777,08
Ladang	2.526,36
Permukiman	191,72
Sungai	22,80

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 1. Delineasi Wilayah Studi.

secara tepat [4]. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif.

B. Variabel Penelitian

Indikator dan variabel pada penelitian ini didapatkan dari hasil sintesa tinjauan pustaka berdasarkan kompilasi teori faktor penentu penggunaan lahan dan daya dukung lahan. Hal tersebut karena kedua teori tersebut memiliki keterkaitan dengan tercapainya tujuan dari penelitian ini Adapun variabel yang digunakan dijabarkan pada Tabel 1.

C. Teknik Analisis Data

Tahap analisis yang pertama yaitu mengidentifikasi delineasi wilayah studi menggunakan analisis *watershed* menggunakan *Geographic Information System* (GIS) dengan variabel yang digunakan adalah ketinggian tanah [5]. Adapun data yang digunakan adalah data ketinggian tanah yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yakni data *Digital Elevation Model* (DEMNAS). Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan *software* ArcGIS dengan memanfaatkan *tools* *Model Builder* dalam melakukan delineasi wilayah studi.

Tahap analisis selanjutnya yaitu menghitung laju erosi per penggunaan lahan yang ada di wilayah studi dengan menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Penggunaan lahan yang teridentifikasi terdapat di wilayah studi ada lima, yaitu Hutan Lindung, Hutan Produksi,

Tabel 6.
Perhitungan Erosivitas Hujan Wilayah Studi

Bulan	Curah Hujan (mm)				Rata-rata CH (cm)	R
	2016	2017	2018	2019		
Januari	79,9	98,6	65,7	5	10,79	56,161
Februari	109,9	8	5	5	14,77	86,029
Maret	177	8	139	5	13,21	73,910
April	32,7	88,2	87,2	72,5	7,02	31,260
Mei	108,5	29,4	11,4	11,3	4,02	14,635
Juni	140,8	24,4	3	0,5	4,21	15,648
Juli	5,7	0	0	6,5	0,31	0,439
Agustus	2,3	0	1,3	3,5	0,14	0,155
September	177,3	55,9	4	0	5,93	24,874
Curah Hujan (mm)						
Bulan	2016	2017	2018	2019	Rata-rata CH (cm)	R
Oktober	99	21,5	11	0	3,29	11,151
November	41	3	57,7	42,3	6,73	29,560
Desember	253,7	91,9	79	197	15,54	92,207
Total	1.227,8	817,8	631,8	762,1	85,98	436,03

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Permukiman, Ladang, dan Sungai. Sebelumnya dilakukan pengelompokkan lahan yang memiliki komponen faktor erosi yang sama ke dalam satuan lahan. Dimana komponen faktor erosi pada USLE ada enam dan dapat disederhanakan menjadi empat yakni erosivitas hujan, erodibilitas tanah, kemiringan tanah, dan tutupan lahan. Selanjutnya dilakukan perhitungan laju erosi dengan rata-rata tertimbang untuk mengetahui laju erosi per penggunaan lahannya.

Prediksi erosi dilakukan untuk mengetahui laju erosi per penggunaan lahan yang ada di wilayah studi. Metode USLE dipilih dalam melakukan prediksi erosi karena metode ini telah umum digunakan serta data yang dibutuhkan sederhana dan mudah untuk didapatkan. Selain itu, nilai erosi pada penelitian ini hanya dibutuhkan sebagai input dalam melakukan optimasi penggunaan lahan, sehingga metode USLE sudah cukup menjawab kebutuhan tersebut [6].

Adapun rumus dari metode USLE adalah sebagai berikut:

$$A = R \times K \times LS \times CP$$

Dimana:

A = Laju Erosi (ton/ha/tahun)

R = Erosivitas Hujan

K = Erodibilitas Tanah

LS = Faktor Kemiringan Tanah

CP = Faktor Tutupan Lahan dan Konservasi Tanah

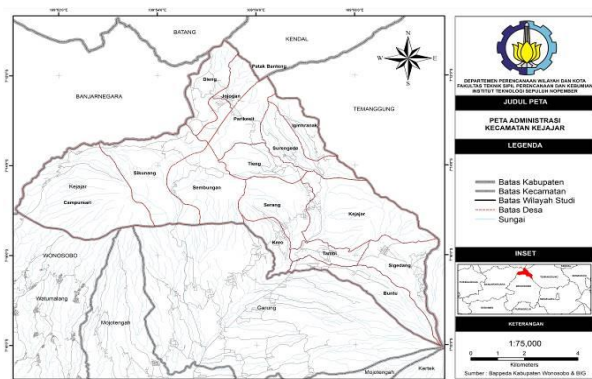
Penentuan nilai erosivitas dilakukan dengan menggunakan rumus lenvain berdasarkan kesesuaian dengan data yang tersedia. Adapun rumus lenvain adalah sebagai berikut.

$$RM = 2,21 \times (Rain)^{1,36}$$

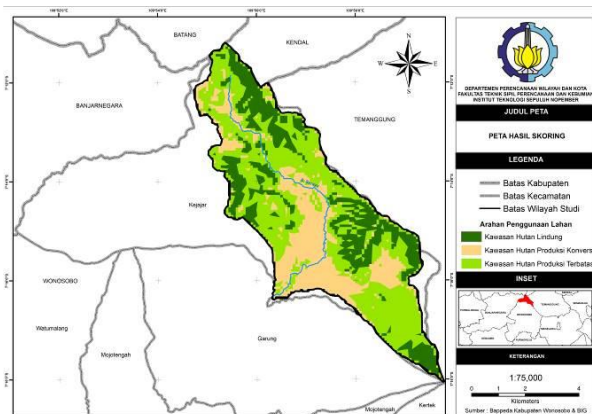
Dimana:

RM = Erosivitas Hujan Bulanan

Rain = Curah Hujan (cm)



Gambar 2. Wilayah Kecamatan Kejajar.



Gambar 3. Kesesuaian Hutan Lindung dan Hutan Produksi.

Nilai erodibilitas tanah didapatkan dari studi literatur terhadap referensi nilai erodibilitas berbagai jenis tanah. dari Puslitbang Pengairan Bogor, dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai faktor LS merupakan gabungan dari faktor panjang lereng dan kemiringan tanah. Penentuan nilai Faktor LS mengacu pada pedoman nilai Faktor LS per kemiringan tanah seperti pada Tabel 3 [7].

Adapun untuk nilai Faktor CP didapatkan dari proses studi literatur terutama yang terkait dengan penelitian menggunakan metode USLE [8][9][10][11]. Selanjutnya membandingkan nilai Faktor CP dari berbagai literatur dan dilakukan pemilihan nilai Faktor CP yang sesuai dengan kondisi penggunaan lahan di wilayah studi. Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi nilai Faktor CP untuk lima jenis penggunaan lahan yang ada di wilayah studi.

Dalam melakukan perhitungan erosi dengan metode USLE, wilayah studi dibagi menjadi beberapa satuan lahan. Satuan lahan merupakan unit lahan yang memiliki kesamaan nilai dalam empat faktor erosi USLE. Setelah mendapatkan nilai erosi per satuan lahan, kemudian dilakukan perhitungan rata-rata tertimbang untuk mendapatkan nilai erosi per penggunaan lahan. Adapun rumus rata-rata tertimbang adalah sebagai berikut ini:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Dimana:

\bar{x} = Nilai rata-rata erosi per penggunaan lahan (ton/ha/tahun)

x_i = Nilai erosi per satuan lahan ke-i

Tabel 7.
Pembagian Satuan Lahan Wilayah Studi

Satuan Lahan	Faktor CP	K	R	Faktor LS	Luas (ha)
SL-1				0,4	6,92
SL-2				1,4	15,36
SL-3	0,001	0,278	436,034	3,1	99,38
SL-4				6,8	219,39
SL-5				9,5	298,90
SL-6				0,4	4,36
SL-7				1,4	73,05
SL-8	0,2	0,278	436,034	3,1	113,47
SL-9				6,8	208,86
SL-10				9,5	377,34
SL-11				0,4	48,60
SL-12				1,4	100,10
SL-13	1	0,278	436,034	3,1	31,50
SL-14				6,8	8,91
SL-15				9,5	2,60
SL-16				0,4	252,49
SL-17				1,4	586,83
SL-18	0,5	0,278	436,034	3,1	752,29
SL-19				6,8	592,82
SL-20				9,5	341,93
SL-21				0,4	6,75
SL-22				1,4	7,36
SL-23	0,001	0,278	436,034	3,1	3,72
SL-24				6,8	2,80
SL-25				9,5	2,16

Sumber: Hasil Analisis, 2020

w_i = Proporsi luas per satuan lahan ke-i

i = 1,2,3...n

n = Jumlah satuan lahan dalam satu penggunaan lahan

Setelah mendapatkan nilai laju erosi per penggunaan lahan, selanjutnya dilakukan optimasi alokasi penggunaan lahan. Analisis ini menggunakan metode *linear programming* yang dilakukan pada *software* Excel Solver pada Microsoft Excel. Sebelumnya dilakukan perumusan fungsi tujuan yaitu mengurangi laju erosi kawasan. Kemudian variabel putusan yakni penggunaan lahan yang ada di wilayah studi. Terakhir yaitu perumusan fungsi batasan dengan kriteria sosial demografi serta regulasi untuk mendapatkan luasan alokasi maksimum maupun minimum dari penggunaan lahan yang dioptimasi. Adapun perumusan matematis fungsi optimasinya adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } D = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5$$

Dimana:

D = Laju erosi kawasan

a, b, \dots, e = Nilai rata-rata erosi per penggunaan lahan

X_1, X_2, \dots, X_5 = Penggunaan lahan

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian mencakup Kecamatan Kejajar di Kabupaten Wonosobo dapat dilihat pada Gambar 2. Luas kecamatan wilayah studi sebesar 5.761 Ha. Kecamatan Kejajar termasuk ke dalam Dataran Tinggi Dieng dengan ketinggian tanah berkisar antara 1100-3100 mdpl. Sebagai daerah yang terletak di kawasan pegunungan, Kecamatan

Tabel 8.
Hasil Prediksi Erosi USLE per Satuan Lahan

Satuan Lahan	Nilai Prediksi Erosi (ton/ha/tahun)	Luas (ha)
SL-1	0,05	6,92
SL-2	0,17	15,36
SL-3	0,38	99,38
SL-4	0,82	219,39
SL-5	1,15	298,90
SL-6	9,70	4,36
SL-7	33,94	73,05
SL-8	75,15	113,47
SL-9	164,86	208,86
SL-10	230,31	377,34
SL-11	48,49	48,60
SL-12	169,70	100,10
SL-13	375,77	31,50
SL-14	824,28	8,91
SL-15	1.151,57	2,60
SL-16	24,24	252,49
SL-17	84,85	586,83
SL-18	187,89	752,29
SL-19	412,14	592,82
SL-20	575,78	341,93
SL-21	0,05	6,75
SL-22	0,17	7,36
SL-23	0,38	3,72
SL-24	0,82	2,80
SL-25	1,15	2,16

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Kejajar juga memiliki kelerengan yang bervariasi antara 0-8% hingga >40% dengan dominasi kelerengan 25-40%.

B. Delineasi Wilayah Studi

Delineasi wilayah studi dilakukan untuk mengetahui batas-batas dari DAS Serayu hulu yang ada di Kecamatan Kejajar. Hal ini agar penelitian berfokus pada area tangkapan hujan di Kecamatan Kejajar yang langsung mengarah ke Sungai Serayu. Terdapat variabel ketinggian tanah yang digunakan untuk menentukan delineasi wilayah studi. Data ketinggian tanah dari *Digital Elevation Model* (DEM) yang kemudian diproses menggunakan *software* ArcGIS dengan *tools* *Watershed Analysis*. Hasil dari delineasi wilayah studi dapat dilihat pada gambar 1 dan penggunaan lahan di wilayah studi dapat dilihat pada Tabel 5.

C. Prediksi Erosi USLE

Selanjutnya input data curah hujan didapatkan dari BMKG melalui Stasiun Geofisika Banjarnegara. Data curah hujan yang digunakan adalah dalam kurun waktu 2016-2019 sesuai dengan ketersediaan data. Hasil perhitungan erosivitas hujan wilayah studi dapat dilihat pada Tabel 6.

Menurut data dari Bappeda Kabupaten Wonosobo, jenis tanah yang terdapat di wilayah studi berupa tanah andosol sehingga apabila dilihat pada referensi dari Puslitbang Pengairan Bogor, nilai erodibilitas tanah untuk wilayah studi adalah sebesar 0,278. Sebelum melakukan perhitungan erosi, terlebih dahulu dilakukan pembagian wilayah studi menjadi beberapa satuan lahan. Terdapat 25 satuan lahan yang terbentuk dengan masing-masing penggunaan lahan memiliki 5 satuan lahan. Pembagian satuan lahan dapat dilihat pada tabel 7.

Setelah satuan lahan terbentuk barulah dilakukan perhitungan erosi menggunakan metode USLE, dapat dilihat

Tabel 9.
Nilai Rata-rata Erosi per Penggunaan Lahan

No.	Penggunaan Lahan	Nilai Erosi Tertimbang (ton/ha/tahun)
1.	Hutan Lindung	0,88
2.	Hutan Produksi	170,37
3.	Permukiman	216,56
4.	Ladang	252,72
5.	Sungai	0,34
6.	Rata-rata Kawasan	195,52
7.	Laju Erosi Kawasan	812.941,48 ton/tahun

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 10.
Perhitungan Kebutuhan Ruang Penduduk

Jumlah Penduduk (jiwa)	Standar Kebutuhan Ruang (m ² /jiwa)	Kebutuhan Ruang (ha)	Kebutuhan Lahan Permukiman (ha)
32.341	9	29,11	48,51

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 11.
Perhitungan Kebutuhan Kalori Penduduk

Jumlah penduduk	Kebutuhan Kalori Total (kalori/tahun)	Produktivitas Kalori Lahan Pertanian (kalori/ha/tahun)	Luas Lahan Pertanian Minimum (ha)
32.341	24.789.376.500	18.181.652,37	1.363,43

Sumber: Hasil Analisis, 2020

pada Tabel 8. Selanjutnya menghitung nilai erosi per penggunaan lahan dengan metode rata-rata tertimbang. Hasil perhitungan nilai rata-rata erosi per penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 9.

D. Optimasi Alokasi Penggunaan Lahan

Setelah nilai erosi per penggunaan lahan telah ditentukan maka rumusan matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } D = 0,88X_1 + 170,37X_2 + 215,46X_3 + 252,72X_4 + 0,34 X_5$$

Dimana:

D = Laju erosi kawasan

X₁ = Penggunaan lahan hutan lindung

X₂ = Penggunaan lahan hutan produksi

X₃ = Penggunaan lahan permukiman

X₄ = Penggunaan lahan ladang

X₅ = Penggunaan lahan sungai

Fungsi pembatas terdiri dari faktor penentu penggunaan lahan berupa kriteria sosial demografi dan regulasi. Dengan perhitungan sebagai berikut ini:

1) Kriteria Sosial Demografi

- Kebutuhan Ruang Penduduk. Kebutuhan ruang merupakan salah satu hak dasar manusia yang penting untuk dipenuhi. Mengacu pada peraturan SNI-03-1733-2004 yakni kebutuhan luas minimal untuk 4 orang dewasa adalah sebesar 36m² atau sebesar 9 m²/orang. Kemudian mengacu pada beberapa peraturan bahwa proporsi luasan prasarana dan sarana umum (PSU) minimal 40% dari total kawasan permukiman. Kriteria ini menjadi fungsi pembatas bagi penggunaan lahan permukiman dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 12.

Luas Kesesuaian Hutan Lindung dan Hutan Produksi

No.	Kategori	Luas (ha)
1.	Kawasan Hutan Lindung	1.014,15
2.	Kawasan Hutan Produksi	2.014,23
3.	Kawasan Boleh Dikonversi	1.129,53

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 13.

Sintesa Fungsi Pembatas

Fungsi Pembatas Sosial Demografi	Asumsi
Kebutuhan ruang penduduk $X_3 \geq 191,72$	Hasil perhitungan kebutuhan lahan permukiman berada di bawah luas eksisting sehingga luas permukiman eksisting masih dipertahankan dengan menjadi batas minimum sehingga hasil optimasi dapat menjamin tercukupinya kebutuhan ruang penduduk.
Kebutuhan kalori penduduk $X_4 \geq 1363,43$	Hasil perhitungan kebutuhan lahan ladang berada di bawah luas eksisting sehingga hasil perhitungan kebutuhan ladang menjadi batas minimum agar hasil optimasi dapat menjamin tercukupinya kebutuhan kalori penduduk.
Fungsi Pembatas Regulasi	Asumsi
Kesesuaian hutan lindung $639,95 \leq X_1 \leq 1014,15$	Hasil perhitungan kesesuaian hutan lindung melebihi luas kondisi eksisting sehingga hasil perhitungan menjadi batasan maksimum konversi.
Kesesuaian hutan produksi $777,08 \leq X_2 \leq 2014,23$	Hasil perhitungan kesesuaian hutan produksi melebihi luas kondisi eksisting sehingga hasil perhitungan menjadi batasan maksimum konversi.
Teknis	
Total luas penggunaan lahan $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 4157,91$	Total luas hasil optimasi harus sesuai dengan luas wilayah studi
$X_5 = 22,80$	Penggunaan lahan sungai tidak mengalami perubahan

Sumber: Hasil Analisis, 2020

b. Kebutuhan Kalori Penduduk

Pemenuhan kalori penduduk merupakan salah satu hal yang penting dilakukan serta melihat wilayah studi yang merupakan kawasan pertanian, maka kriteria ini digunakan untuk menjadi fungsi pembatas bagi penggunaan lahan ladang. Perhitungan kebutuhan kalori Permenkes No. 28 Tahun 2019 tentang angka kecukupan gizi yang dianjurkan yakni sebesar 2.100 kalori per kapita per hari serta konversi nilai kalori per tanaman berdasarkan standar dari BPS. Perhitungan Kebutuhan Kalori penduduk dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 14.

Hasil Optimasi Penggunaan Lahan Pada Excel Solver

Variabel	Value	Reduced Cost
Hutan Lindung (X1)	1.014,15	0
Hutan Produksi (X2)	1.565,81	0
Permukiman (X3)	191,72	0
Ladang (X4)	1.363,43	0
Sungai (X5)	22,80	0
Objective Value	653.752,2	

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 15.

Komparasi Hasil Optimasi dan Kondisi Eksisting

Penggunaan Lahan	Eksisting (Ha)	Hasil Optimasi (Ha)	Perubahan (Ha)	(%)
Hutan Lindung (X1)	639,95	1014,15	374,20	58,47
Hutan Produksi (X2)	777,08	1565,81	788,73	101,5
Permukiman (X3)	191,72	191,72	0	0
Ladang (X4)	2.526,36	1.363,43	-1.170,82	-46,20
Sungai (X5)	22,80	22,80	0	0
Nilai Erosi (ton)	812.941,48	653.752,17	-159.189,31	

Sumber: Hasil Analisis, 2020

2) Kriteria Regulasi

Kriteria regulasi menjadi fungsi pembatas bagi penggunaan lahan hutan lindung dan hutan produksi. Perhitungan didasarkan pada SK Mentan No. 837/Kpts/Um/11/1980 dan SK Mentan No. 683/Kpts/Um/8/1981 tentang kesesuaian hutan lindung dan hutan produksi berdasarkan skoring. Dengan hasil skoring adalah sebagai berikut dapat dilihat pada Tabel 12. Selain dari dua kriteria tersebut, fungsi pembatas juga memiliki kriteria teknis seperti total luas hasil optimasi harus sama dengan luas kondisi eksisting. Adapun rekapitulasi rumusan fungsi pembatas yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 13. Kesesuaian hutan lindung dan hutan produksi dapat dilihat pada Gambar 3.

Permodelan *linear programming* dilakukan dengan menggunakan *software* Excel Solver. Sebagai input adalah rumusan matematis fungsi tujuan dan fungsi hambatan yang telah dirumuskan sebelumnya sehingga menghasilkan *output* berupa alokasi penggunaan lahan yang optimal yang memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Selain itu dilakukan pula uji sensitivitas untuk melihat apakah hasilnya sudah optimal atau belum yaitu dengan melihat nilai *reduced cost* pada *output* yang dihasilkan oleh *software*. Tabel 14 merupakan hasil perhitungan alokasi penggunaan lahan yang optimal pada *software* Excel Solver.

Dilihat dari hasil optimasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa *output* yang dihasilkan sudah optimal. Hal ini berdasarkan *Reduced Cost* yang bernilai 0 yang artinya sudah tidak ada perubahan *value* yang dapat menghasilkan hasil yang lebih optimal. *Objective Value* menunjukkan bahwa dengan luas alokasi penggunaan lahan seperti pada hasil optimasi, laju erosi kawasan yang dihasilkan menjadi 653.752,2 ton/tahun.

Nilai *Value* pada hasil optimasi menunjukkan alokasi penggunaan lahan yang optimal pada masing-masing penggunaan lahan yang dapat menghasilkan laju erosi kawasan yang minimal. Terjadi perubahan penambahan luas pada hasil optimal untuk penggunaan lahan hutan lindung dan hutan produksi, serta perubahan penurunan luas pada penggunaan lahan ladang. Sedangkan untuk penggunaan lahan permukiman dan sungai tidak mengalami perubahan.

Pada kondisi yang optimal, penggunaan lahan hutan lindung seharusnya memiliki luas 1.014,15 ha, hutan produksi seharusnya memiliki luas 1.565,81 ha, dan ladang memiliki luas 1.363,43 ha. Perbandingan kondisi eksisting dan hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 15.

Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan dapat dilihat bahwa laju erosi dapat diturunkan sebesar 159.189,31 ton/tahun atau sebesar 19,58%. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi juga memiliki arti bahwa penambahan luas pada hutan lindung dan hutan produksi dilakukan pada luasan penggunaan lahan ladang eksisting.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang dilakukan, didapatkan bahwa alokasi penggunaan lahan yang optimal dalam rangka menurunkan laju erosi kawasan adalah luas penggunaan lahan hutan lindung perlu ditingkatkan 374,20 ha; luas hutan produksi ditingkatkan sebesar 788,73 ha; dan luas ladang diturunkan sebesar 1.170,82 ha. Dengan alokasi penggunaan lahan sesuai hasil optimasi, laju erosi kawasan dapat diturunkan sebesar 159.189,31 ton/tahun dari sebesar

812.941,48 ton/tahun menjadi 653.752,2 ton/tahun. atau turun sebesar 19,58%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. K. dan K. S. Air, "Kajian Model Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Terpadu," Jakarta, 1970.
- [2] M. A. Setiawan, J. Stoetter, J. Sartohadi, and N. Christanto, "The integrated soil erosion risk management model of central java, indonesia," *Geophys. Res. Abstr.*, vol. 11, p. 6802, 2009.
- [3] N. Christanto, S. Hadmoko, D. C. J. Western, F. Lavigne, J. Sartohadi, and M. A. Setiawan, "Characteristic and behavior of rainfall induced landslides in java island, indonesia: an overview," *Geophys. Res. Abstr. EGU Gen. Assem. J. Sartohadi*, vol. 11, no. 12123412, pp. 2009–4069, 2009, [Online]. Available: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-4069-7.pdf>.
- [4] N. W. Lawrence, *Basic of Social Research: Qualitative and Quantitative Approach*, 3rd ed. Don Mills, Ontario: Pearson Canada Inc, 2018.
- [5] B. Amrullah, A., Rachmansyah, A., Yanuwadi, "Deliniasi unit pengelolaan sub das konto," *Indones. J. Environ. Sustain. Dev.*, vol. 6, no. 2, 2005, [Online]. Available: https://www.academia.edu/21080721/Deliniasi_Unit_Pengelolaan_Sub_DAS_Konto.
- [6] K. Schmitz and A. Tameling, "Modelling erosion at different scales, a preliminary virtualexploration of the sumberjaya watershed," University of Twente, Enschede, 200AD.
- [7] B. . Kironoto and B. Yulistiyo, "Konservasi Lahan," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 200AD.
- [8] C. Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2012.
- [9] S. Arsyad, *Konservasi Air dan Tanah*. Bogor: IPB Press, 2010.
- [10] T. B. Erosi and W. Wadaslintang, "Analisis tingkat bahaya erosi pada waduk wadaslintang dengan aplikasi arcgis," Universitas Teknologi Yogyakarta, 2012.
- [11] A. A. S. Sutono, and N. Sutrisno, *Teknologi Pengendalian Erosi Lahan Berlereng*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pertanian, 2005.